

## 南方红豆杉种源光合特性差异及光环境效应

焦月玲<sup>1</sup>, 周志春<sup>\*</sup>, 李因刚<sup>1</sup>, 王剑<sup>1</sup>, 王月生<sup>2</sup>

(1 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400 2 浙江省淳安县富溪林场, 浙江 淳安 311700)

关键词: 南方红豆杉; 种源; 光合特性; 光环境

中图分类号: S791.49

文献标识码: A

### Provenance Differences of Photosynthetic Characters of *Taxus chinensis* var *mairii* Seedlings and Effect of Light Environment

JIAO Yue-ling<sup>1</sup>, ZHOU Zhi-chun<sup>1</sup>, LI Yin-gang<sup>1</sup>, WANG Jian<sup>1</sup>, WANG Yue-sheng<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400 Zhejiang China

2. Fuxi Forest Farm of Chun'an County, Zhejiang Province, Chun'an 311700, Zhejiang China)

**Abstract** The provenance difference for photosynthetic characters of *Taxus chinensis* var *mairii* seedlings was studied by use of provenance trial under different shading condition located at Chun'an of Zhejiang. The result indicated that there were obvious provenance differences for height growth, dry matter accumulation, chlorophyll a, b and the total content, photosynthesis rate with different geographical genetic variation pattern. Seedling height was found to be positively and significantly related to the altitude and longitude of its seed source. Contrasting to seedling height, dry matter appeared to be certainly and negatively related to the altitude and longitude of its seed source. There were no obvious geographical variation pattern for chlorophyll content and photosynthesis rate. The provenances with more chlorophyll had higher photosynthesis rate and greater dry matter accumulation. Analysis demonstrated that there existed great effect of light environment on photosynthetic character of seedling. At September, the chlorophyll a, b and total content of the seedlings under light transmittance 10% were 12.0%, 16.1% and 13.7% more than the ones under light transmittance 25% respectively. At October, the chlorophyll a, b and total content of the most provenances were declined under light transmittance 10%, and average photosynthesis rate of the provenances tested was 13.7% less than the one under light transmittance 25%. The change of chlorophyll content of provenance seedling at various growth stages varied with light condition. Under light transmittance 25%, the content of chlorophyll was lower at August, highest at September, and decreased or increased slightly at October. Under light transmittance 10%, the content of chlorophyll at October was descended above 20% than one at September.

**Key words** *Taxus chinensis* var *mairii*; provenance; photosynthesis characteristics; light environment

红豆杉 (*Taxus* spp.) 是提取抗癌药物紫杉醇的重要药用植物, 但红豆杉树体内紫杉醇含量很低 (一般为 0.0001% ~ 0.069%), 野生资源难以满足药用

需求。当前世界各国都在寻求多种方法生产紫杉醇<sup>[1-4]</sup>, 而通过人工栽培则是当今实行紫杉醇产业化的主要途径。南方红豆杉 (*T. chinensis* var *mairii*)

收稿日期: 2006-04-17

基金项目: 国家林业局重点科技推广项目“南方红豆杉短周期药用林高产栽培示范” ([2005] 74号)

作者简介: 焦月玲 (1979—), 女, 山东胶南人, 硕士。

\* 通讯作者

(Lemee et Lévl) Cheng et L. K. Fu) 是红豆杉科 (Taxaceae) 红豆杉属 (*Taxus* L.) 红豆杉 (*T. chinensis* (Pigier) Rehd.) 的一个变种, 也是红豆杉属植物在中国分布最广泛的一种, 为国家一级珍贵保护植物。相对于同属其它植物其紫杉醇含量虽然较低, 但因其早期速生、生物积累量高而具有巨大的开发利用价值, 适宜短周期培育。南方红豆杉具有喜荫湿、怕高温和干旱的特性, 光照条件是影响其苗木生长和短周期药用林培育的重要环境因子。在生产中主要通过遮阳设施栽培, 形成人工庇荫条件以利于苗木生长和高产培育。苗木培育一般要求遮阳透光率为全光照的 10% 左右<sup>[5,6]</sup>, 而短周期药用林经营一般要求遮阳透光率为全光照的 50% 左右<sup>[7]</sup>。红豆杉属其它植物对光环境的需求也是如此。如芦站根等<sup>[8]</sup>基于不同光照条件下光合特性的比较, 认为在重庆低海拔地区曼地亚红豆杉 (*T. media* Rehder) 在 50% 透光率的光环境下生长最好。本文结合南方红豆杉种源苗期试验<sup>[6]</sup>, 选择有代表性的种源, 研究揭示南方红豆杉苗木光合特性的种源差异及其对不同遮阳强度的效应, 旨在为南方红豆杉药用林的短周期高产经营提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

利用设置在浙江省淳安县富溪林场龙门里苗圃的南方红豆杉种源苗期测定材料开展种源光合特性差异及光环境影响的研究<sup>[6]</sup>。试验苗圃处于中亚热带向北亚热带过渡的季风气候区, 四季分明, 阳光充足, 雨量充沛, 气候温和湿润, 为山地苗圃, 沙壤土, 肥力一般。2003年 11 月底采集安徽、浙江、江西、福建、湖北、湖南、四川、贵州、广西、云南 10 个省区 27 个产地的南方红豆杉天然林分的种子, 经沙床层积 1 a 2 个月于 2005 年 3 月 22 日播种。育苗试验按完全随机区组设计, 并用 1 层和 2 层遮阳网搭做荫棚形成 2 种庇荫处理, 其透光率分别相当于全光照的 25% 和 10% 左右。每种庇荫处理设置 3 次试验重复, 5 行小区, 按株距 5 cm, 行距 10 cm 点播, 每小区播种 100 粒以上。南方红豆杉出苗前即用塑料遮荫网搭设荫棚。苗期除草、施肥、灌溉及病虫害防治等按正常生产管理进行。

### 1.2 测定方法

当南方红豆杉种源苗木长到一定大小 (苗高 7

~ 8 cm) 时开始叶绿素含量和光合速率的测定。选择浙江龙泉、福建明溪、湖南靖州、湖北恩施和广西三江 5 个代表性种源, 分别于 2005 年 8 月 17 日、9 月 20 日和 10 月 18 日分 3 次取样测定其叶绿素含量, 研究种源叶绿素含量在不同生长期的动态变化及光环境的效应。在 2 种庇荫处理的第 2 试验重复内, 分别选择上述试验种源 5 株平均大小的苗, 测定其苗高、地径、分枝数和叶绿素  $a_b$ 。叶绿素  $a_b$  用 80% 丙酮 - 无水乙醇 (1:1) 混合液提取后采用分光光度法测定<sup>[9]</sup>, 用单位叶片鲜质量所含的量表示, 即  $mg \cdot g^{-1}$ 。2005 年 10 月 17、18 日 (天晴, 气温 16~26 °C) 同时开展南方红豆杉种源的光合速率测定, 除上述 5 个种源外, 还包括安徽黄山、湖南桑植、四川峨眉、云南石屏 4 个种源, 每个种源选择代表性植株 5 株, 用 CI-310 型便携式光合仪采用开放式气路测定 2 种庇荫条件下种源幼苗全叶光合作用  $CO_2$  的变化, 每株测定约 15 个数据, 选取中间数值平稳的 5 个数据取平均值。光合速率以单位时间 (s) 单位叶片干质量 (g) 所消耗的  $CO_2$  量 ( $\mu g$ ) 表示, 即  $\mu g \cdot g^{-1} \cdot s^{-1}$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 南方红豆杉苗生长、干物质质量和光合特性种源差异

2.1.1 苗木生长和干物质积累种源差异 在 10% 透光率的庇荫条件下, 南方红豆杉苗高生长和干物质质量的种源差异较大 (表 1)。在参试的 9 个种源中, 安徽黄山和浙江龙泉种源苗高生长最快, 分别达 13.37、13.16 cm, 云南石屏种源苗高生长最慢, 仅为 10.82 cm, 较安徽黄山种源低 19.07%。对于干物质质量而言, 浙江龙泉种源最大, 达  $0.55 g \cdot 株^{-1}$ , 安徽黄山种源最小, 为  $0.44 g \cdot 株^{-1}$ , 二者相差 25.0%。相关分析表明 (表 2), 南方红豆杉种源苗高与产地经、纬度都呈显著的正相关, 来自南方红豆杉偏北和偏东部的种源苗高生长较快, 与已有研究一致<sup>[6]</sup>。然而南方红豆杉种源干物质质量与产地经、纬度呈一定程度的负相关, 其地理变异规律有异于苗高生长, 尤其是分布区偏南部的种源干物质生产能力较强。种源干物质质量与苗高生长呈一定程度的负相关。

表 1 10%透光率庇荫条件下 9 个南方红豆杉种源的地理因子、苗木生长及光合特性均值

种源	纬度(N) / (°)	经度(E) / (°)	苗高 /cm	干物质量 / (g·株 <sup>-1</sup> )	叶绿素 a / (mg·g <sup>-1</sup> )	叶绿素 b / (mg·g <sup>-1</sup> )	叶绿素 a/b	叶绿素 a+ b / (mg·g <sup>-1</sup> )	光合速率 / (μg·g <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> )
安徽黄山	30 28	118. 11	13. 37	0. 44	0. 858 6	0. 571 5	1. 502	1. 430 1	2. 603 2
浙江龙泉	28 25	119. 13	13. 16	0. 55	1. 174 8	0. 823 6	1. 426	1. 998 4	3. 679 7
福建明溪	26 40	117. 15	11. 78	0. 53	0. 935 8	0. 767 0	1. 220	1. 702 8	2. 989 1
湖南桑植	29 40	110. 17	12. 98	0. 47	1. 017 9	0. 749 4	1. 358	1. 767 3	3. 074 4
湖南靖州	30 23	109. 15	12. 47	0. 52	1. 133 8	0. 761 2	1. 490	1. 895 0	3. 038 0
湖北恩施	30 27	109. 37	11. 63	0. 48	0. 982 4	0. 764 3	1. 285	1. 746 7	2. 165 5
四川峨眉	29 61	103. 50	12. 19	0. 54	1. 191 2	0. 888 6	1. 341	2. 079 8	3. 424 5
广西三江	25 78	109. 60	11. 96	0. 52	1. 105 4	0. 706 6	1. 564	1. 812 0	3. 491 8
云南石屏	23 73	102. 43	10. 82	0. 53	1. 093 8	0. 778 7	1. 405	1. 872 5	2. 770 3

表 2 10%透光率庇荫条件下南方红豆杉种源苗木生长、光合速率及与产地经、纬度间的相关系数

项目	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素 a/b	叶绿素 a+ b	光合速率	苗高	总干物质量
光合速率	0. 688 6 <sup>c</sup>	0. 424 3	0. 311 7	0. 611 2 <sup>+</sup>	-	-	-
苗高	- 0. 131 6	- 0. 327 1	0. 322 0	- 0. 229 8	0. 294 7	-	-
干物质量	0. 777 0 <sup>c</sup>	0. 780 6 <sup>c</sup>	- 0. 116 1	0. 828 4 <sup>**</sup>	0. 648 0 <sup>+</sup>	- 0. 383 4	-
纬度	- 0. 080 2	- 0. 124 4	0. 105 6	- 0. 105 1	0. 014 0	0. 828 3 <sup>‡</sup>	- 0. 431 3
经度	- 0. 470 1	- 0. 439 2	0. 013 1	- 0. 485 9	0. 086 1	0. 643 3 <sup>+</sup>	- 0. 222 2

注: +、\*、\*\* 分别表示显著性概率为 0.10、0.05 和 0.01。

2.1.2 苗木叶绿素含量种源差异 叶绿素是树木光合作用重要的、最有效的光能吸收色素,与光合作用和干物质积累密切相关。从表 1 可以看出,南方红豆杉不同种源的叶绿素含量存在较大差异,种源叶绿素 a、b 以及叶绿素总量的变幅分别为 0.858 6~1.191 2、0.571 5~0.888 6 和 1.430 1~2.079 8 mg·g<sup>-1</sup>,最大和最小种源分别相差 38.7%、55.3% 和 45.4%。比较分析表明,四川峨眉、浙江龙泉等种源叶绿素 a、b 和叶绿素总量较高,叶绿素 a/b 比值较低,而安徽黄山等种源的叶绿素 a、b 和叶绿素总量较低,叶绿素 a/b 比值则较高。研究表明(表 2),在 10% 透光率的庇荫条件下,南方红豆杉种源苗木叶绿素 a、b 和叶绿素总量与产地经度呈一定程度的负相关,而与产地纬度相关性较小。研究证实了南方红豆杉种源叶绿素含量与干物质积累量间的显著相关性,种源叶绿素 a、b 和叶绿素总量高,意味着干物质生产能力较强,然而种源叶绿素含量与苗高生长间呈微弱的负相关。种源叶绿素 a/b 比值与苗高和干物质积累量仅分别呈弱度的正相关和弱度的负相关。

2.1.3 苗木光合速率种源差异 测定分析表明,南方红豆杉不同种源的苗木光合速率存在很大的差异(表 1)。在测试的 9 个种源中,浙江龙泉、广西三江和四川峨眉种源的光合速率较高,分别为 3.679 7、3.491 8、3.424 5 μg·g<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup> 而安徽黄

山和湖北恩施种源的光合速率较低,分别为 2.603 2、2.165 5 μg·g<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>,光合速率最高种源与最低种源间相差 69.9%。对照分析种源的光合速率和叶绿素含量可以看出,光合速率较高的浙江龙泉、四川峨眉等种源其叶绿素 a、b 和叶绿素总量相对较高,光合速率较低的安徽黄山等种源叶绿素含量相对较低。南方红豆杉种源光合速率与叶绿素 a 叶绿素总量呈显著的正相关,与叶绿素 b 含量的相关却未达到统计学上的显著水平(表 2)。南方红豆杉种源的光合速率对其干物质生产能力影响较大,二者的相关性达到 0.10 的概率显著性水平。光合速率虽对苗高生长有一定的影响,但其间的相关未达到显著性水平。

## 2.2 不同生长期南方红豆杉种源苗木的叶绿素含量变化

表 3 给出了 2 种光环境下 5 个南方红豆杉种源在不同生长期的叶绿素含量测定值。从表 3 中可以看出,不同光环境下南方红豆杉种源苗木叶绿素含量在不同生长期的变化规律有一定的差异。在 23% 透光率的庇荫条件下,8 月份时苗木叶绿素 a、b 以及叶绿素总量都较低,仅为 9—10 月份的 38.3%~70.8%,这是叶片未发育完全之故。随着苗木生长和叶片的成熟,叶绿素含量不断增高,9 月份时达到最高值,10 月份时叶绿素含量虽因种源不同而略有下降或提高,但变化不大。在 10% 透光率的庇荫

条件下,测定了 9 10 两个月的苗木叶绿素含量。研究表明,9 月份的叶绿素 a b 和叶绿素总量最高,较 10 月份分别高出 17.4%、21.5%、19.1%。这一变化规律有异于 25% 透光率的庇荫处理。10 月份时因天气渐凉、光照强度渐弱,致使 10% 透光率庇荫条件下的光照略显不足,导致苗木叶绿素含量有一定幅度的下降。比较发现,8 月份时叶绿素 a/b 比值较高,9 10 月份时较低,且差异较小。

### 2.3 不同光环境下南方红豆杉种源苗木光合特性差异

光环境对南方红豆杉种源苗木叶绿素含量影响较大,并因生长期不同而异(表 3)。在 9 月份,虽然

高温期即将过去,但气温仍然较高,自然光照仍然较强,10% 透光率的庇荫环境有利于南方红豆杉苗木的生长,其叶绿素 a b 和叶绿素总量较 25% 透光率的庇荫环境下分别高出 12.0%、16.1%、13.7%; 而到 10 月份,由于气温下降、自然光照强度减弱,10% 透光率的庇荫环境下多数种源的叶绿素 a b 和叶绿素总量有一定程度的下降,较 25% 透光率的庇荫环境下分别低 5.9%、2.1%、4.3%。然而不论 9 月份还是 10 月份,25% 透光率的庇荫环境下的叶绿素 a/b 比值都较高,都较 10% 透光率的庇荫环境下高出 3.9%,这意味着在较强光环境下南方红豆杉苗木叶绿素 a 的相对含量较高。

表 3 2 种光环境下不同生长期南方红豆杉种源叶绿素含量

遮阳透光率 %	时间(月)	性状	浙江龙泉	福建明溪	湖南靖州	湖北恩施	广西三江	平均值
	8	叶绿素 a / (mg·g <sup>-1</sup> )	0 734 4	0 674 9	0 683 1	0 717 7	0 593 5	0 680 7
		叶绿素 b / (mg·g <sup>-1</sup> )	0 496 8	0 444 4	0 407 4	0 430 9	0 338 6	0 423 6
		叶绿素 a+b / (mg·g <sup>-1</sup> )	1 231 3	1 119 4	1 090 5	1 148 7	0 932 1	1 104 4
		叶绿素 a/b	1 478	1 519	1 677	1 665	1 753	1 618
25	9	叶绿素 a / (mg·g <sup>-1</sup> )	1 036 2	1 055 3	1 064 0	1 197 1	1 237 1	1 117 9
		叶绿素 b / (mg·g <sup>-1</sup> )	0 711 1	0 732 8	0 770 0	0 902 0	0 884 6	0 800 1
		叶绿素 a+b / (mg·g <sup>-1</sup> )	1 747 3	1 788 1	1 834 0	2 099 1	2 121 7	1 918 0
		叶绿素 a/b	1 457	1 440	1 382	1 327	1 398	1 401
	10	叶绿素 a / (mg·g <sup>-1</sup> )	1 165 7	1 124 7	1 142 7	1 089 8	1 123 7	1 129 3
		叶绿素 b / (mg·g <sup>-1</sup> )	0 803 4	0 741 4	0 844 9	0 785 4	0 727 1	0 780 4
		叶绿素 a+b / (mg·g <sup>-1</sup> )	1 969 1	1 866 1	1 987 6	1 875 1	1 850 8	1 909 7
		叶绿素 a/b	1 451	1 517	1 353	1 388	1 545	1 451
10	9	叶绿素 a / (mg·g <sup>-1</sup> )	1 165 0	1 278 4	1 230 7	1 281 1	1 304 7	1 252 0
		叶绿素 b / (mg·g <sup>-1</sup> )	0 858 2	0 949 6	0 889 5	0 948 6	1 000 0	0 929 2
		叶绿素 a+b / (mg·g <sup>-1</sup> )	2 023 2	2 228 0	2 120 1	2 229 7	2 304 7	2 181 1
		叶绿素 a/b	1 357	1 346	1 384	1 351	1 305	1 349
	10	叶绿素 a / (mg·g <sup>-1</sup> )	1 174 8	0 935 8	1 133 8	0 982 4	1 105 4	1 066 4
		叶绿素 b / (mg·g <sup>-1</sup> )	0 823 6	0 767 0	0 761 2	0 764 3	0 706 6	0 764 5
		叶绿素 a+b / (mg·g <sup>-1</sup> )	1 998 4	1 702 8	1 895 0	1 746 6	1 812 0	1 831 0
		叶绿素 a/b	1 426	1 220	1 490	1 285	1 564	1 397

试验表明,10 月份时 25% 透光率的庇荫环境下南方红豆杉多数参试种源光合速率较高,与 10% 透光率的庇荫环境下的光合速率相比平均高出 13.7%,这与不同光环境下苗木叶绿素含量的变化

规律是一致的,但不同种源对光环境的反应差异较大,浙江龙泉和四川峨眉 2 个干物质生产能力较高的种源在 10% 透光率的庇荫条件下仍保持较高的光合速率(表 4)。

表 4 不同透光率庇荫条件下南方红豆杉种源苗木光合速率差异

遮阳透光率 %	安徽黄山	浙江龙泉	福建明溪	湖南桑植	湖南靖州	湖北恩施	四川峨眉	广西三江	云南石屏	平均值
25	3 412 0	2 714 8	3 375 2	3 363 3	3 500 1	4 328 2	3 095 5	3 976 7	3 197 6	3 440 4
10	2 603 2	3 679 7	2 989 1	3 074 4	3 038 0	2 165 5	3 424 5	3 491 8	2 770 3	3 026 3

## 3 结论与讨论

庇荫是南方红豆杉药用林设施栽培的主要技术

措施之一。本文利用设置在浙江省淳安县的南方红豆杉种源苗木测定材料,开展不同光环境下南方红豆杉苗木生长、干物质质量、光合特性的种源差异研

究。研究表明, 南方红豆杉不同种源苗木生长和光合特性存在较大的差异, 苗高、干物质质量和光合速率最大和最小种源间分别相差 19.07%、25.0% 和 69.9%。苗木生长和光合特性的地理变异模式是不同的, 种源苗高与产地经、纬度呈显著的正相关, 而干物质质量与产地经、纬度呈一定程度的负相关, 来自偏北和偏东部的种源苗高生长较大, 但并不意味其干物质质量较高。种源叶绿素含量和光合速率随产地经、纬度的变异模式不明显。相关分析表明, 南方红豆杉种源苗木叶绿素含量 (尤其是叶绿素 a)、光合速率与干物质积累量间呈紧密的正相关, 叶绿素含量高的种源具有较大的光合速率, 进而可获得较高的干物质积累量。

随着植物叶片的发育成熟, 其叶绿素含量不断提高<sup>[10]</sup>。测定结果表明, 南方红豆杉苗木在 25% 透光率的庇荫条件下也遵循这一规律。8 月份时因南方红豆杉苗木叶片发育还未完全, 叶绿素含量较低, 9 月份时叶绿素含量最高, 到 10 月份因种源不同而略有下降或提高; 然而在 10% 透光率的庇荫条件下, 10 月份时因自然光强渐弱而使光照略显不足, 苗木叶绿素含量较 9 月份下降 20% 左右。在 2 种光环境下, 8 月份时南方红豆杉苗木叶绿素 a/b 比值较高, 9 月份时较低, 且差异较小。光环境条件对植物光合速率影响较大。如李冬林等<sup>[11]</sup>对 1 年生浙江楠 (*Phoebe chekiangensis* C. B. Shang) 的研究显示, 在庇荫条件下叶绿素 a 和叶绿素总量增加, 有利于在弱光下提高苗木光合能力, 但重度庇荫时其净光合速率较小, 致使生长缓慢、生物量下降。南方红豆杉苗期对光照的需求相对较小, 弱光或漫射光的光环境有利于南方红豆杉苗木生长。在自然光照仍然较强的 9 月份, 10% 透光率的庇荫环境适宜于南方红豆杉苗木生长, 其叶绿素 a 和叶绿素总量较 25% 透光率的庇荫环境下分别高出 12.0%、

16.1% 和 13.7%; 而到自然光照开始减弱的 10 月份, 25% 透光率的庇荫条件下多数种源的叶绿素含量较高、光合速率较强, 叶绿素总量和光合速率分别较 10% 透光率的庇荫环境下平均提高 4.3% 和 13.7%。总的比较分析可以得知, 10% 透光率庇荫条件更有利于南方红豆杉幼苗的生长。本文仅是南方红豆杉苗期试验结果, 关于幼龄收获期光环境对南方红豆杉生长、干物质质量、光合生理以及紫杉醇形成等影响有待下一步重点研究。

#### 参考文献:

- [1] 包怡红, 王振宁. 紫杉醇的研究概况及发展趋势 [J]. 中国林副特产, 2003(2): 5~7
- [2] 石膏, 李吉学, 程克棣, 等. 中国红豆杉愈伤组织紫杉烯合成酶 cDNA 片段的分离 (简报) [J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(4): 285~287
- [3] 何政坤, 张淑华, 龙志浩, 等. 紫杉醇生化合成基因之选殖与转殖 [J]. 林业研究专讯 (台湾), 2003, 52(2): 24~26
- [4] 何政坤, 张淑华, 蔡锦莹, 等. 利用生物反应器培养台湾红豆杉生产紫杉醇 [J]. 林业研究专讯, 2003, 52(2): 20~23
- [5] 潘标志. 南方红豆杉不同育苗方式苗木质量的比较研究 [J]. 福建林业科技, 2005, 32(2): 39~42
- [6] 焦月玲, 周志春, 余能健, 等. 南方红豆杉苗木性状种源分化和育苗环境对苗木生长的影响 [J]. 林业科学研究, 2007, 20(3): 363~369
- [7] 焦月玲, 周志春, 金国庆, 等. 6 个南方红豆杉种源苗期和幼龄生长差异 [J]. 林业科学研究, 2005, 19(5): 636~640
- [8] 芦站根, 赵昌琼, 韩英, 等. 不同光照条件下生长的曼地亚红豆杉光合特性的比较研究 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2003, 28(1): 117~121
- [9] 张宪政. 作物生理研究法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1992: 56~80
- [10] 吕建林, 陈如凯, 张木清, 等. 甘蔗净光合速率、叶绿素和比叶重的季节变化及其关系 [J]. 福建农业大学学报, 1998, 27(3): 285~290
- [11] 李冬林, 向其柏. 光照条件对浙江楠幼苗生长及光合特性的影响 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2004, 28(5): 27~31